

## 総 説

### 放射線で治る病気

生 島 仁 史

徳島大学医学部附属病院放射線部

(平成15年3月5日受付)

(平成15年3月17日受理)

#### はじめに

放射線治療で治る癌は手術でも治る癌である。しかし、治療率が同じであれば治療に伴う機能欠落や副作用が少ない方が良い治療法といえる。形態や機能の温存を目的とし、初期癌に対して放射線治療が選択されてきた疾患に喉頭癌や口腔癌がある。T1癌で約90%、T2癌で約80%の局所制御率があり<sup>1,2)</sup>、発声や咀嚼機能を温存しながら治癒させることが可能である。子宮頸癌に対する放射線治療も手術と同等の治療成績が得られ、手術不可能な局所進行癌でも病巣が骨盤内に留まっている場合には根治治療の適応となる。骨盤壁に浸潤が及ぶⅢb期局所進行子宮頸癌に対する放射線治療の5年生存率は47～63%が示されている<sup>3,4)</sup>。上咽頭癌、悪性リンパ腫や孤立性形質細胞腫はその高い放射線感受性から放射線治療が適用される。上咽頭癌の多くは初診時すでに頸部リンパ節転移を来した進行癌であるが、遠隔転移を有する症例以外では化学放射線療法が第1選択となり、Ⅱ/Ⅲ/Ⅳ期5年生存率は73/74/42%が示されている<sup>1)</sup>。化学療法が治療の主体となる悪性リンパ腫の中で、腫瘍径の小さなびまん性大細胞型リンパ腫Ⅰ期、濾胞性リンパ腫Ⅰ・Ⅱ期及び予後不良因子のないⅠ/Ⅱ期ホジキンリンパ腫や眼窩・中枢神経系などの節外リンパ腫は放射線単独治療の適応となる。高い放射線感受性は、固形癌の場合に必要な線量より少ない放射線量での局所制御を可能としている。Palliative therapyではあるが放射線治療が手術の代替療法となった疾患として単発の転移性脳腫瘍がある。頭蓋内小病変に対し、三次元的に放射線を集光させることでターゲットのみを切り取るような高線量を照射する定位照射技術は、3 cm以下の腫瘍に対して80 - 90%の腫瘍制御を可能とした<sup>5)</sup>。初期肺癌や前立腺癌は、最近の放射線治療装置のハイテク化に伴って根

治的放射線治療が適用されはじめた疾患である。三次元照射に動態追尾システムを加えた四次元照射システムにより体幹部へと適応が拡大した定位的放射線照射やビーム中の強度変調を行うことで格段に良好な線量配分が得られる Intensity modulated radiation therapy の導入が、Ⅰ期非小細胞肺癌や限局性前立腺癌に対する放射線治療において手術と比較して遜色ない局所制御を実現させた。以下に近年開発された新たな照射技術について紹介する。

遠隔操作式後充填装置 (remotely controlled after loading system : RALS) を用いた密封小線源治療

密封小線源治療とは、密封小線源 (治療用放射性同位元素) を病巣に近接させ照射する方法である。高線量を腫瘍に投与でき、周囲の健常組織には低線量ですませられる。線量集中性がよく治療可能比 (病巣の制御に必要な線量/病巣周囲の正常組織の耐用線量) の高い照射方法であり、小さな悪性腫瘍に対しては強力な治療方法となり、腫瘍床となっている臓器の形態や機能を失うことなく高い腫瘍制御が得られる。初期の口腔癌や子宮癌に対しては密封小線源治療単独で根治的治療が可能であり、外部放射線治療で病巣を縮小した後の残存病巣に対する追加照射 (ブースト照射) としても用いられる。従来、密封小線源治療では様々な放射性同位元素が使用されてきたが、<sup>226</sup>Ra は廃棄が勧告されており<sup>137</sup>Cs は製造が中止される。今後は RALS 線源である<sup>192</sup>Ir を中心に治療が行われていくことになる (表1)。高線量率<sup>192</sup>Ir-RALS は従来の線源と比較して極めて比放射能の高い (検定時線源強度370MBq) 非常に小さな (外径1.1mm長さ3mm) 放射性同位元素を使用した密封小線源治療システムである。線源の細小化により様々な臓器へのアプローチが可能になり、高い比放射能による治療時間の短縮は患者負

担を軽減させた。また、治療計画用コンピュータにより標的ごとに最適な線量配分を得ることができるようになり、遠隔操作にて線源の移送を行うことで医療従事者の被曝がほぼゼロになった。従来より密封小線源治療が標準的治療として施行されてきた口腔癌、子宮癌に加え、早期肺門癌、食道癌、胆管癌、軟部組織悪性腫瘍などに対して適応が拡大されている。治療手技は、臓器ごとに開発された軟性チューブや硬性ステンレス針などのアプリケーションを病巣に留置し、そのなかを線源が速やかに移動しながら、最大48ポイントで所定の停留時間だけ停止してあらかじめ計画された線量分布を形成する。1回の治療で最大18チャンネルが使用でき、各チャンネルの治療範囲もポイント数とその間隔の選択に応じて、最長24cmまでほぼ任意に設定できるようになっている。

表1 線源核種の特性

核種	半減期	鉛半値層 (cm)	形状
$^{226}\text{Ra}$	1622年	1.4	針、管
$^{137}\text{Cs}$	30年	1.1	針、管、RALS用
$^{60}\text{Co}$	5.26年	1.2	RALS用
$^{198}\text{Au}$	2.7日	0.33	シード
$^{192}\text{Ir}$	74.2日	0.3	ワイヤ、シード、RALS用

### 三次元原体照射・定位放射線照射

原体照射はビーム照射中に線源が移動する運動照射の一種であり、日本で開発されリニアック治療装置の開発に伴って世界的に普及した照射法である。回転照射中に線源からみた標的の形状に合わせて照射野を変えて標的に線量を集中させることにより、標的容積の形に近い線量分布を作成することができる。しかし、従来の原体照射では線源の回転はCT断面と同一平面内であるため、線量の集中に限界があった。これに対して、患者寝台をリニアックのアイソセンターを通る垂線を軸として回転させることでCT断面とは無関係に三次元的に入射する照射法が導入され、治療計画装置の進歩が高速演算と大記憶容量を必要とするこの三次元照射を可能とした(図1)。現在では、頭蓋内腫瘍のみならず体幹部の限局した腫瘍に対して標準的な集光照射法として適用されている。

細いビームを、照射中心の固定精度1～2mm以内で多方向から集光させる定位放射線照射はLeksell Gamma Unitが頭内小病変に対する定位的放射線治療専用装置としてまず普及した<sup>6)</sup>。これは定位脳手術用頭部固定フレームを装着した状態で、コリメータヘルメット内の半球面上に配置された201個のコバルト線源から細いビー

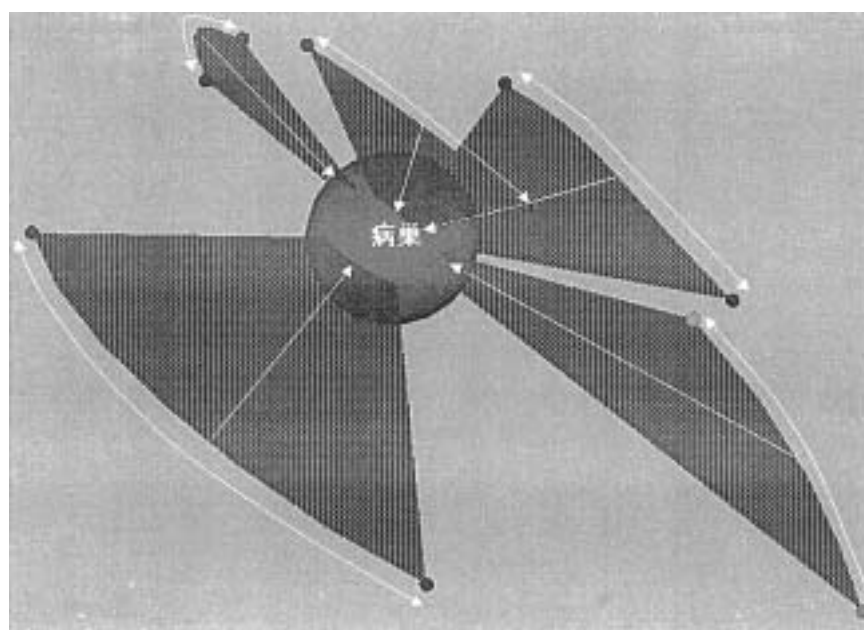


図1

三次元的に多方向から照射することにより、周囲の正常組織の被ばく線量が激減する。結果として、病巣に大線量を投与することが可能になった。

ム状になった $\gamma$ 線が1点に集中して照射されるようになっている。一方、既存の治療装置であるリニアックで同様の治療を可能にするシステムが開発された。リニアックによる定位放射線照射は、X線を5～40mm程度の細いビームに絞り、三次元的な多軌道で照射を行うものであり、リニアック・メスとも呼ばれる。Leksell Gamma Unitに比べて照射精度の維持に高度な技術と労力が要求されるが、分割照射が行える点や、体幹部の病変に対応できるという大きな利点がある。

#### Intensity modulated radiation therapy (IMRT)

IMRTは、照射野内のビーム強度を変化させることにより、標的の三次元形状への線量集中性を格段に高める放射線治療法の総称であり、現在放射線治療界で最も関心を集めている照射方法である(図2)。Memorial Sloan Kettering Cancer Centerなど米国の先進的放射線治療施設において、1990年代はじめより研究及びシステム開発が行われ、現在ではルーチンの臨床応用が行われており、本邦においても今後急速に普及すると考えられる。従来の外部照射法では、二次元照射であれ三次元照射であれ、照射方向、ビーム形状、各照射線量の重みなどのパラメータを変え、標的及び正常組織線量が許容範囲に入る様、計画者の施行錯誤により最適条件を決定するのが基本であったが、IMRTでは標的に対する線量と周囲リスク臓器に対する許容線量、照射門数、照射方向を指定すると、最適化逆計算治療計画(inverse planning)

によって最善の強度変調が決定される。IMRTは従来の放射線治療のウィークポイントであった頭頸部腫瘍、脊椎腫瘍や前立腺癌など危険臓器を取り囲む凹な標的に対しても、十分な線量増加を可能としている点が際立った特徴といえる。

#### おわりに

公平な判断のための情報公開の時代になって、初期の癌は切り取ってしまえば治るのではなく、切り取らなくても治る方法を提示して、治療成績と生じうる副作用に関する十分な理解の上で患者自身に治療法を選択させなければならない。放射線治療は、癌病巣に放射線を集中させ周囲正常組織の被ばくを避ける方向で進歩してきた。その結果、多くの初期癌において手術に匹敵する腫瘍制御が得られており、機能や形態を温存しながら治癒が期待できる治療法となっている。

#### 文 献

- 1) 井上俊彦, 三橋紀夫, 茶谷正史, 加賀美芳和 他: 頭頸部癌(喉頭, 上・中・下咽頭)の治療成績. 日放腫会誌, 10(suppl): 4, 1998
- 2) Matsuki, H., Ikushima, H., Takegawa, H., Kashihara K., *et al*: A comparison of the results of radiotherapy and surgical treatment of tongue cancer. J. Jpn. Soc. Ther. Radiol. Oncol., 12: 143-152, 2000

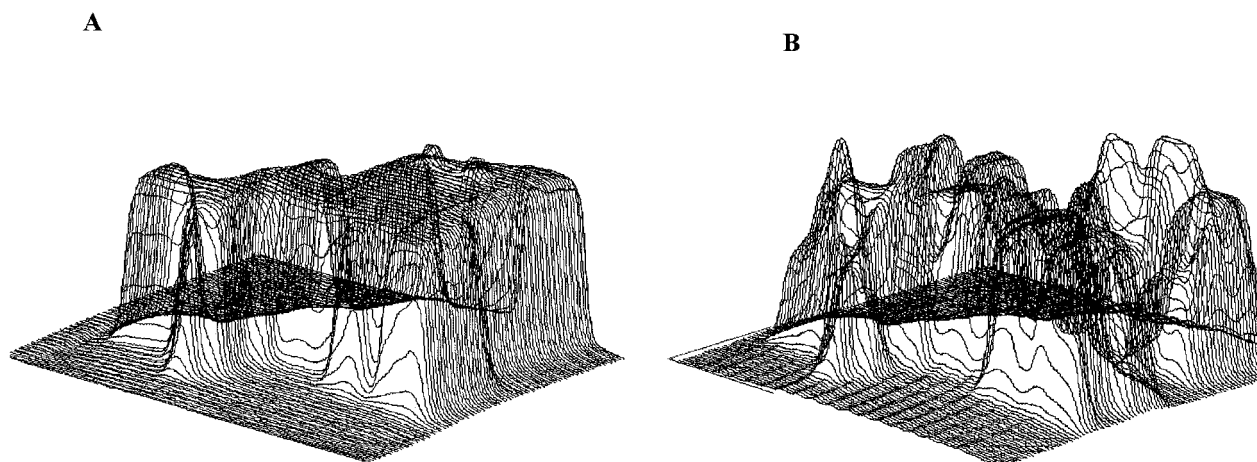


図2 Intensity modulation とは  
A, no intensity modulation: 照射野内の線量分布は平坦である。  
B, intensity modulation: 照射野内の線量分布に高低がある。

- 3) 荒居龍雄, 森田新六, 飯沼 武, 中村 譲 他: 高線量率腔内照射による子宮頸癌の放射線治療 - 至的線量と分割回数の関連性 - . 癌の臨床 25 : 605 612 ,1979
- 4) Ikushima, H., Takegawa, Y., Matsuki H., Kashihara K., *et al* : Radiotherapy for carcinoma of the uterine cervix using low-dose-rate intracavitary brachytherapy. -A retrospective analysis of pretreatment and treatment prognostic factors-. J. Jpn. Soc. Ther. Radiol. Oncol., 11 : 37 46 ,1999
- 5) Ikushima, H., Tokuue, K., Sumi M., Murayama S., *et al* : Fractionated stereotactic radiotherapy of brain metastases from renal cell carcinoma. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 48 : 1389 1393 2000
- 6) Leksell, L. : Stereotactic radiosurgery. J. Neurol. Neurosurg. Psych., 46 : 797 803 ,1983

## *The disease that can heal by radiation therapy*

*Hitoshi Ikushima*

*Division of Radiology, Tokushima University Hospital, Tokushima, Japan*

### SUMMARY

Rapid advances in radiation therapy technology have made remotely controlled after loading system, 3 dimensional planning system and intensity modulated radiation therapy system. These technologies have made it possible to deliver ideally distributed radiation to the target three dimensionally with great accuracy, while sparing the adjacent organs. As a result, radiation therapy becomes a treatment method equal to a surgery in local control probability of cancer in various organs. If the cure rate is the same, treatment method with a few functional deficit and adverse effect by a treatment is regarded as a better. Radiation therapy must be always explained to a patient as alternative therapy of a surgery in early cancer of the organ that function preservation is important.

Key words : radiation therapy technology, minimally invasive therapy, cancer